



TITLE:

<三大学(阪大・神大)論文発表会提出論文>官民共同研究開発における政府補助金の経済分析: 具体例としての米国半導体産業における官民共同研究開発コンソーシアム SEMATECHについて

AUTHOR(S):

近藤, 弘子; 今江, 莊人; 大塚, 到; 謝, 星; 磯貝, 茂樹;
大西, 祐里江; 嶋田, 亜由美; 豊島, 正浩; 三木, 康平

CITATION:

近藤, 弘子 ...[et al]. <三大学(阪大・神大)論文発表会提出論文>官民共同研究開発における政府補助金の経済分析: 具体例としての米国半導体産業における官民共同研究開発コンソーシアム SEMATECHについて. 岩本ゼミナール機関誌 2008, 12: 148-177

ISSUE DATE:

2008-02-19

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/57048>

RIGHT:

三大学論文発表会

官民共同研究開発における 政府補助金の経済分析²⁴

～具体例としての米国半導体産業における官民共同研究開発コンソーシアム SEMATECH
について～

京都大学 岩本武和ゼミナール

近藤 弘子

今江 莊人

大塚 到

謝 昱

磯貝 茂樹

大西 祐里江

嶋田 亜由美

豊島 正浩

三木 康平

²⁴ 本稿を作成するにあたっては、岩本武和教授（京都大学）、高橋信弘准教授（大阪市立大学）、原良憲教授（京都大学経営管理大学院）をはじめ、多くの方々から有益且つ熱心なコメントを頂戴した。ここに記して感謝の意を表したい。しかしながら、本稿にあり得べき誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである

要旨

半導体生産技術と国際競争力の向上を主目的として、米国において官民共同研究開発コンソーシアム SEMATECH(SEmiconductor MAnufacturing TECHnology)が 1987 年に設立された。米国内半導体売上高の内、全体の 8 割を占めるアメリカ半導体企業 14 社をメンバーとし、国防総省から国防高等研究計画局(ARPA)を通じて毎年 1 億ドルという巨額の補助金が拠出された。1980 年代に日本に逆転された世界半導体シェアを奪還することが目的とされ、研究開発の具体的内容は、当時日本に比べて性能の劣っていた半導体製造装置の技術革新であった。

この論文では、半導体産業、とりわけ SEMATECH の特徴を踏まえて、政府補助金が SEMATECH メンバー企業に与えた影響を分析する。

補助金が企業の投資ポートフォリオに与える影響に焦点を当て、長期と短期の投資計画の成功確率と投資回収機会、さらに時間割引率を含んだモデルを導入し、長短 2 つの投資計画に対する企業の投資配分比率に補助金が及ぼす影響について考察する。そして考察の結果、SEMATECH のような官民共同出資型の補助金は長期的な R&D にとって有益であり、また一般的な政府補助金として知られる Brander-Spencer 型の補助政策よりも SEMATECH のような官民共同出資型の補助政策の方がより明確に長期投資を増大させる効果があるという結論を得た。

目次

はじめに

第 1 章 SEMATECH の設立背景・構造

1.1 半導体産業の歴史的動向

- 1.1.1 半導体産業史（～1960 年代）
- 1.1.2 1970 年代のアメリカ半導体産業
- 1.1.3 1970 年代の日本半導体産業
- 1.1.4 日米半導体摩擦
- 1.1.5 知的所有権の強化

1.2 SEMATECH について

- 1.2.1 SEMATECH の構造
- 1.2.2 SEMATECH の研究内容
- 1.2.3 SEMATECH の共同研究開発による効果
- 1.2.4 SEMATECH の知的所有権

1.3 先行研究の分析と本論文の方向性

第 2 章 半導体産業の特徴と共同開発研究としての SEMATECH の特徴

2.1 半導体産業の特徴

2.2 長期 R&D と短期 R&D

第 3 章 企業の R&D 投資における政府補助金の効果に関する理論的考察

3.1 Model の設定

- 3.1.1 官民共同出資型 project における政府補助金の効果
- 3.1.2 民間出資型 project における政府補助金の効果

3.2 まとめ

おわりに

参考文献・データ出典

はじめに

昨今、情報社会のうねりの中、技術の変化・革新の速度は速まり、企業レベル・産業レベル・一国レベル・世界経済レベルにおいて研究開発活動、特に複数企業が共同で研究開発を実施する共同研究開発の重要性は一段と高まっている。

一般に共同研究開発と呼ばれるものの内容は様々であるが、典型的には複数の事業者が技術、資金、役務を提供しあって共同で研究開発活動を行うことにより新たな技術を開発しようとするものと定義²⁵できる。

共同研究開発の意義・役割は、大まかにみて以下のようなものが挙げられる²⁶。

①分割不可分性の克服

研究開発に存在する分割不可分性を乗り越えることができる。つまり、ある種の研究開発にはある一定規模以下では行えない最小規模が存在するが、共同で研究開発することでその規模の問題を克服できるのである。

②外部経済効果の内部化と知識補完性

研究開発の有する外部経済効果を内部化することが可能になる。研究開発は他企業や消費者に対して正の外部性をもたらす。しかし、同時に個々の企業にとっては、投入する資源一単位あたりの収益性は低くなり、研究開発へのインセンティブが失われてしまうことにつながる。共同研究開発という形態をとることで、スピルオーバーを参加企業内に留め、企業の研究開発へのインセンティブを確保できる。これにより、研究開発についての伝統的議論で指摘されてきた「研究開発活動が社会的厚生からは過小になる」という問題点は改善される。そして、もちろん当グループ内での技術移転は速く、知識の補完性という点でも参加企業にとっては大きなメリットになる。外部性の内部化や知識の補完性については第1章でより詳しく述べる。

③リスクの分散

研究開発に存在する危険性・不確実性が緩和される。複数の企業が共同で研究開発することにより、リスクの分散が可能である。これも、研究開発のインセンティブが過小になりがちな問題点を改善する。

④重複防止と効率性の上昇

複数の企業が同一の研究開発を重複して行うことがなくなり、研究開発の効率性を上げ

²⁵ 公正取引委員会事務局経済部(1990),P26 参照

²⁶ 中村(2000)を参考にした

ることや資源の浪費を防ぐことができると考えられる。現実には私的な開発インセンティブは過小になるのではなく、社会的に見てむしろ過剰になることもあるのである。一般に研究開発活動の成果を得られるのは、他企業に比べてより早く開発に成功した企業である。このため研究開発競争においては先行者としての利益を獲得するため、他企業よりも少しでも多く開発投資を投下しようとするインセンティブが働く。共同研究開発により、こういった過剰投資や無用の重複投資等は避けられ、この問題は改善される。

以上のように、研究開発活動は通常の経済活動と異なった性質を持つことから、私的インセンティブによる市場取引だけでは研究開発に伴う最適な資源配分を実現できないことも多いが、共同研究開発を行うことである程度改善することができるのである。

近年、経済発展のインフラストラクチャーとなるような先端的な技術の研究開発の必要性が高まっているが、そのような技術の開発には、膨大な費用、技術、時間が必要であり、またリスクも大きい。しかも、そのような研究開発が成功した場合でも、それによって得られた技術や知識は容易に他へ移転、伝播される可能性も大きい。このようにコストが大きいことやリスクが高いこと、技術や知識の外部性の高さ、また単独の企業の所有する技術、研究者に限りがあることなどから、先端技術分野においては共同研究開発が有力な手段となり、さらには共同研究開発の形態でなければ開発が困難な場合もあり得ると考えられる。また、民間に加え、政府も参画して行われる研究開発や、共同研究に対する公的補助金は、資源の投入の加速化、研究開発の促進に有用であるといえる。

上記の顕著な例として、我々は米国で 1987 年に設立された官民共同の半導体研究開発コンソーシアム SEMATECH (Semiconductor Manufacturing TECHNOLOGY) に焦点を当てることとする。

本論文の構成は以下の通りである。まず、第 1 章では SEMATECH の設立背景および活動内容についてより詳しく触れる。続く第 2 章では半導体産業の特徴を踏まえた上で、政府補助金の必要性について述べる。そして、第 3 章では、SEMATECH のメンバー企業の研究開発投資計画に対して政府補助金を与えた影響を、研究開発の成功確率や投資費用回収機会といった観点から分析し、最後に第 3 章の分析から経済的含意を導き、結論とする。

第 1 章 SEMATECH の設立背景・構造

本章では日米半導体産業の歴史的な動向を確認しつつ、アメリカ政府が何故市場介入を行ったのか、産業政策としての SEMATECH の位置づけを明らかにする。

SEMATECH の構造・目的・研究開発の特徴・活動内容を見ていき、SEMATECH に関する先行研究について言及しながら、本論文の方向性を述べることにする。

1.1 半導体産業の歴史的動向²⁷

1.1.1 半導体産業史（～1960 年代）

半導体開発は資本主義全体の威信に深く関連することであった。特に冷戦時代を通して資本主義諸国を束ねていたアメリカでは重要視されていた。ソ連との軍事競争を繰り広げていく中で半導体技術の遅れは経済的な問題を引き起こすだけでなく、政治的軍事的危機に直結したからである。このような状況の中で世界的な半導体の開発競争が行われ始めた。

半導体、特に IC 生産に先鞭をつけたのはアメリカである。まず 1954 年にトランジスタがベル研究所により開発された。その後、世界の多方面に影響を及ぼす IC に関する基本特許が確立され、生産が本格化することになる。そしてフェアチャイルド社を中心にカリフォルニア州にシリコンバレーと称される半導体の一大生産拠点が築かれることになる。半導体開発研究は軍事的色彩の強いものではあるがコンピュータ等の需要にも応えたものである。このように 60 年代はアメリカが半導体産業において優位を保っていた。

日本は IC やシリコン・トランジスタに関してアメリカに完全に遅れを取っていた。それ故にアメリカからの技術を導入することにより日本半導体産業はこれらの生産を開始した。また 60 年代後半になると電卓とミニコンピュータの登場により外販をも指向した IC 生産の量産化を本格化している。このような傾向の下で IC 生産は急拡大を続け、日本経済が貿易黒字基調を確立する中、輸入制限措置に支援はされているものの輸入依存を脱し国産体制へと移行していったのである。

1.1.2 1970 年代のアメリカ半導体産業

1970 年にインテル社が DRAM²⁸を開発し、また LSI の生産においてもアメリカ半導体産業が世界の主要な地位を保持していた。これらの開発以降、半導体産業は 3 つの異なるタイプの企業が競争しつつ相互補完的な機能を果たし、全体として技術の高度化や生産の拡大が進んだ。具体的に見ていくと、半導体のみの生産・外販をする専売企業（マーチャント企業）、電子システム企業の半導体部門、電子システム企業の中でも群を抜いて巨大で高

²⁷ 大西(1994)を参考にした

²⁸ Dynamic Random Access Memory: 記憶保持(リフレッシュ)動作が必要な随時書き込み読み出しメモリ。半導体記憶素子の一つ。

度な技術力を持つ企業の3種類である。これらの異質な3タイプの企業が競争しつつ相互補完的な機能を果たし、全体として技術の高度化や生産の拡大が進んだ。これがアメリカ半導体産業の発展のあり方であり、逆に言えば共同という概念は一切なかった。半導体産業は自由競争に没頭し、議会も政府も自由主義を信奉していた。そして官民関係も希薄であった。また民間企業間での共同研究開発は独占禁止法により禁止されていた。

アメリカ半導体産業は70年代前半から急速に成長していた。70年代中葉ではアメリカ半導体産業は自国市場の98%、ヨーロッパ市場の78%、世界市場全体の70%のシェアを占めており他国に対し圧倒的優位を保っていたのである²⁹。

1.1.3 1970年代の日本半導体産業

日本では1970年代に入ると半導体各社がIC生産の量産化に乗り出している。また政府は半導体産業育成政策を展開し、その目的に沿って個別企業の枠組を越えた体制が形成されることになる。71年の「電子計算機に関する自由化措置」を契機として政府は国産コンピュータ開発に関して主力メーカーの中で富士通・日立、日本電気・東芝、三菱電機・沖電気の3グループ、超LSI開発に関して日本電気・東芝、日立・富士通・三菱電機の2グループを編成した。73年にはICの生産額が個別半導体の生産額を上回っており、機能面でもこのような動向の下で集積度を高めたLSIの生産が中心となっていく。72年から74年にかけてはIBM370シリーズに対処すべく集積回路開発費補助金を作り、NチャンネルMOS・LSI、高性能リニアICに関する研究開発を助成している。

次に日本半導体産業に大きな影響を及ぼしたものとして超LSI技術研究組合の設立がある。この背景には75年における電電公社、日本電気、日立、富士通等による64KDRAMの超LSI開発がある。そして76年度から4年間にわたり次世代電子計算機用大型集積回路開発促進費補助金（超LSI補助金）制度が発足している。つまり当時の通商産業省から拠出された300億円の政府資金とはほぼ同額の民間資金が出資されて超LSI技術研究組合が結成され、政府資金を基盤として主要半導体メーカーが超LSI開発のために結集したのである。具体的な目的は半導体の一層の高集積化や高速化等と高性能国産コンピュータの開発である。明確な開発課題を持っていたので超LSI技術研究組合は80年の解散にまで多くの研究成果を達成している。そして対米輸出が急増していったのである。

このように日本半導体産業はアメリカからの導入技術に依存せざるを得なかったので日本政府が産官学連携を促進し、学習効果を考慮した上で産業支援政策も含む巨額投資を実行し、生産コストを低下させ価格競争力を強化させた。これにより日本半導体産業はアメリカ半導体産業を急速にキャッチアップし、そして世界全体における半導体シェアを伸ばしていった。このことは、同時にアメリカとの半導体摩擦³⁰を引き起こすことになる。

²⁹ 大西(1994),p.19 参照

³⁰ 図1(地域別半導体市場シェア：1980-96)を参照

1.1.4 日米半導体摩擦

1980 年代初頭になるとアメリカと日本の半導体シェアは逆転することになり、日本がトップの座を奪取することになる。この状況を踏まえてアメリカはベンチャー・ビジネスと軍需だけで半導体市場の動向に対処することが難しいと判断し、半導体産業の R&D 投資費用の減少と半導体研究の利益を利用する各企業の国際競争力強化のために様々な戦略を展開している。まず日本の半導体産業を保護するための外資制限の政策や超 LSI 技術研究組合のような政府が介入する政策等を批判した。また通商特別代表部(SRTN)の米国通商代表部(USTR)への改組も実行した。85 年には SIA(アメリカ半導体工業会)は 256KDRAM を中心とした日本製半導体の輸入阻止を目的として、日本市場の閉鎖性、日本政府の過度な育成政策、そして特に過剰投資を背景とした安値でのダンピングを通商法 301 条に違反するものとして提訴している。86 年には日米半導体協定が締結されることになる。この協定では適正価格での妥当なアメリカへの輸出と日本市場開放が課題とされた。これに違反するとアメリカは報復措置を実施したのである³¹。これにより日本は産業支援政策を実施することが困難になった。

このような日本の政策批判をする一方で、日本型の研究開発体制を積極的に取り入れようとしている。79 年に国防総省が主導で VHSIC プロジェクトを開始し、83 年に半導体の技術開発を目的とした官民共同研究開発組織 MCC が結成されている。自由主義を信奉していたアメリカでは共同研究開発は独占禁止法により禁じられていたが、知識を民間企業間で共有するために 84 年に国家共同研究法が制定され、反トラスト法の規制緩和、R&D に対する税額控除等が盛り込まれた。そして、87 年に R&D 投資額の 1 企業のみによる負担を困難視し、予算 15 億ドルをかけ 64MDRAM 製造技術の確立を射程におさめた、政府参画の半官半民の研究開発組織 SEMATECH が発足したのである。

1.1.5 知的所有権の強化³²

また同時にアメリカ政府は、研究開発組織の設立促進活動に加え、知的所有権の強化にも力を入れている。2 章で詳述するが、半導体産業の特徴について述べる。半導体は電気機器、通信、軍需など様々な産業に利用されるので国際競争力という観点から国の重要産業に位置づけられている。先端技術開発には巨額の研究開発費用が必要とされ、特に半導体産業は製品の世代交替の期間が短いため、常に高いレベルでの研究開発を行う必要が生じる。一方、研究開発によって生じた成果は Arrow(1962)において「公共財的な性格を有する」としているように、排除不可能性、専有不可能性を備え、フリーライダーといった問題が生じ、研究開発活動に対するインセンティブは低下する。この弊害を解消するために発明者や創作者に一定期間の独占権、専有権を与えて特許使用料を支払わない利用を排除

³¹ 87 年に沖電気の子会社が東南アジアでダンピングを犯したとして、パソコン、カラーテレビ、電動工具に 100%の輸入関税がかけられた。

³² 大西(1994),小田切(2007)

する仕組みとしての知的所有権制度が存在し、発明者や創作者に発明からの収益を確保して、研究開発活動へのインセンティブを与える一つ的手段として捉えられる。

米国における知的所有権の強化は 1980 年代に集中的に行われた。80 年には連邦議会がコンピュータのプログラム、ソフトウェアを著作権の対象物とする著作権法を改正し、81 年に実施された。これによってソフトウェアは著作物として位置付けられ、プログラムの構成や配列が著作権法により保護されることになった。世界的に展開していたアメリカ半導体産業において国際的広がりを持った特許権、著作権等法的枠組の整備が必要となっており、84 年頃から WIPO(World Intellectual Property Organization)の特許調和条約会議がアメリカ主導で開催され国際的な特許制度の調整が進められている。87 年にはレーガン大統領が教書で国際競争力強化戦略の一環としての知的所有権の擁護を据えている。GATT・ウルグアイラウンドでも知的所有権に関する国際的なルールはアメリカ主導で行われているため WIPO に加盟していない第三国にも影響を及ぼすこととなっている。また、民間レベルにおいて、アメリカ IPC(知的所有権委員会)、EC の UNICE(欧州産業連盟)と日本の経団連で知的所有権に関する国際的な取り決めが申し合わされている。特に半導体に関しては、84 年に半導体回路配置保護法が制定されているように、手厚く保護がなされている。

また ISO(国際標準化機構)での情報通信分野の国際標準規格の策定に関し、アメリカ又はアメリカ多国籍企業は自己ないし自国企業に有利な方向へと法制化、規格化を推進していた。

1.2 SEMATECH について

1.2.1 SEMATECH の構造

1987 年 8 月にアメリカ半導体企業 14 社³³をメンバーとし、半導体生産技術と国際競争力の向上を主目的とする SEMATECH(Semiconductor MANufacturing TECHnology)が設立された。これら 14 社の半導体売上高はアメリカ全体の 8 割を占める。SEMATECH は日本の超 LSI 技術研究組合を模倣したものという見解が強い。具体的に言うと SEMATECH は継続する政府の補助金により設立され、国防総省が ARPA を通じて毎年 1 億ドルを拠出した。SEMATECH メンバー企業は年間で半導体純売上の 1%又は 100 万ドルを拠出する。これはメンバー企業の研究開発予算の約 11%に相当する。また上限は企業負担分全体の 15%である。これにより各企業は SEMATECH に無責任の行動を取ることはできないし、またあまり強い影響力を持つこともできない³⁴。法律下では半導体製品による売上に従事することは禁じられ、半導体そのものを生産・設計することやコンソーシアム外のメンバー企業

³³ AT&T Microelectronics, Advanced Micro Devices, International Business Machines, Digital Equipment, Harris Semiconductor, Hewlett-Packard, Intel, LSI Logic, Micron Technology, Motorola, NCR, National Semiconductor, Rockwell International, Texas Instruments

³⁴ 仮に IBM や Texas Instruments がこの上限までの投資を行ったとしても、その 12 倍以上もの資金を費やした SEMATECH 全体の研究の成果にアクセスできるわけで、研究コスト分担のメリットは大きいと考えられる。

の R&D 投資を規制することも禁じられている。SEMATECH は半導体の製法技術の研究開発をする組織である。SEMATECH には約 400 人の技術スタッフがおり、約 220 人がメンバー企業から派遣されている。アメリカ国内企業のみで半導体生産技術を向上させているので知的所有権の保護の観点からも他国企業の参加は拒否されている。具体例として日立の系列会社は 88 年に参加を拒否されている。

1.2.2 SEMATECH の研究内容

SEMATECH の具体的な研究内容を見ていく。SEMATECH 設立当初の日本の半導体産業と比較した時の米国の半導体産業の弱点は歩留まりの低さにあった。歩留まりとは、生産した製品の全数量の中に占める所定の性能を発揮する「良品」の比率を示すものである。例えば、歩留まりが高いということは、その製品は原料の質が高く、且つ製造ラインの性能は優秀ということになるのである。当時の日本の半導体メーカーは、高歩留まりの半導体製造装置を有しており、1989 年当初、SEMATECH メンバーの 60% 以上は日本の半導体製造装置メーカーから装置を購入していたのであった。この状態では、日本の半導体製造装置メーカーが最先端の装置をまず日本国内の半導体メーカーに納入し、アメリカの半導体メーカーへの納入が後回しにされるという恐れがあった。したがって SEMATECH は、米国半導体産業復活の戦略を、高性能の半導体製造装置の強化として位置づけた。具体的にはプラズマエッチングやリソグラフィといった半導体製造装置技術関連のプロジェクトや歩留まり関連の研究開発を行う中で、表 1 のような 3 段階の目標別に分けた研究開発計画を策定した。最終的な目標は 94 年上半期までに全ての米国製半導体製造装置で 0.35 μm の線幅で電子回路を半導体チップの上に投射することである。そして実際に SEMATECH は目標を達成していったのである。89 年には日本の技術と同じレベルの 0.5 μm の線幅での電子回路を可能にし、92 年には 0.35 μm の線幅での電子回路を可能にした。

以上のような SEMATECH による半導体製造装置の性能の向上で、アメリカの半導体メーカーの多くは自国の装置を利用し、米国半導体のシェア回復の一助になったと考えられている³⁵。

1.2.3 SEMATECH の共同研究開発による効果

SEMATECH の共同研究開発による効果を考察していく。SEMATECH は共同研究開発コンソーシアムという形態をとることで、前節でも述べたように『分割不可分性の克服』、『外部経済効果の内部化と知識補完性』、『リスクの分散』、『重複防止と効率性の上昇』といった効果を果たすが、ここでは「知識の補完性」と「外部性の内部化」について特に分析する³⁶。

まず知識の補完性を述べていく。前節でも述べたがメンバー各企業が高い能力を有する

³⁵ 畑(2006)

³⁶ 宮田(1997)を参考にした

研究者を SEMATECH に派遣することにより水平的協力を行った。次に製造装置や材料メーカーとの垂直的協力を行っている。SEMATECH の製法開発研究は日本ほど密接ではなかった半導体製造装置メーカーとユーザーとしての半導体メーカーの関係を強化するものであった。そもそも半導体製造装置メーカーと半導体メーカーには異なる専門知識が必要とされる³⁷。その中で技術が高度化するにつれて製造装置メーカーが優位に立ち、半導体メーカーもそこから購入するようになる。また製造装置メーカーは特定の一分野に特化して生産を行っていたので、ユーザーからのフィードバックが技術革新のために重要であっても、半導体メーカーが製造装置を再び内製することが困難であった。合併をするにしても多額の資金が必要になり、合併後も異なる知識を必要とする製造装置事業部を管理するのも難しい。よってユーザーとメーカーの技術融合のためには独立した SEMATECH のような企業同士による垂直的共同研究開発の場が必要であった。これにより知識の補完性をメンバー企業は利用することができる。

次に外部性の内部化を見ていくことにする。上述したが SEMATECH の研究は半導体製造装置の開発研究である。そして目的は明確で 1989 年に日本の技術レベルと同じ水準に達し、92 年に追い越すというものであった。それでは何故 SEMATECH が必要だったのか。半導体産業は技術革新に成功しても直ちに他企業に利用されてしまい、開発利益を盗用されてしまう。つまり専有可能性が低く、R&D 水準は低くなる。このような外部性を内部化するためには半導体メーカーの水平的協力、半導体製造装置メーカーとの垂直的協力を同時に行う SEMATECH のような共同研究開発が必要になるのである。また外部性には業界標準化が含まれている。標準化のためにどの半導体メーカーも自らに有利な業界基準を決めようとするので、SEMATECH の共同研究開発が産業内の調整し、製造装置の統一した仕様を決める必要があった。

以上が SEMATECH の目的の説明である。メンバー企業は上述の目的に同意し、又外国、特に日本との国際競争に勝つために SEMATECH に参加したのである。

1.2.4 SEMATECH の知的所有権

SEMATECH の発明に関する取り決めについて見ていくことにする。共同研究開発は前述したように外部経済効果の内部化といった特性を持ち、非メンバー企業による共同研究開発の成果のフリーライダーを防ぐ働きをする。しかし SEMATECH に対する米国政府の補助金の正当性の根拠としては、米国内半導体産業において非メンバー企業にも波及効果がなければならない³⁸。この両者のジレンマの中で、SEMATECH は以下のような取り決めを行っている。1) 1 年間の間、SEMATECH の研究開発によって生まれた製造装置を非メンバー企業に売ることを禁じ (1991 年まで)、2) メンバー企業は SEMATECH の研究開発によって新たに発明された設備を非メンバー企業よりも 6~9 ヶ月間早く使用することができ、

³⁷ 前者には光学・化学・材料工学・機械工学が必要で、後者には電子工学・物理が必要である。

³⁸ Irwin and Klenow(1996)でも指摘されている

3)メンバー企業はSEMATECHの発明を2年間無料で独占的に使用する特許権が与えられ、その後は全てのアメリカ国内の企業がごくわずかの特許権使用料でSEMATECHの発明を利用することができる、というものである。こうして外部経済効果のバランスをとったのである。

ところで、98年までに、SEMATECHを出願人としてUPSTO(United States Patent and Trademark Office)に56件の特許が認められており、そのうち表3に見られるように9件がPCT国際出願されている。PCT国際出願とは多くの外国に特許出願する際に便利な出願方法で、ある国でPCT国際出願すると、その国際出願日を基準にPCT加盟国の中で進歩性・新規性を審査できるものである。91年以後にPCT国際出願された表3の特許は日本の特許庁にも申請されている。SEMATECHは91年以後研究開発の成果を全く秘密にしていたわけではなく、SEMATECHの研究成果のうち特許で広く権益を確保できるものは世界中の特許庁に申請している。この背景には米国製半導体製造装置の世界市場でのシェア増加のための業界標準獲得といった思惑があると考えられる。

最後に特許の引用に関する実証研究からSEMATECHの補助金について考察する。Branstetter(2001)では日本企業とアメリカ企業の特許とR&D行動を分析し、知識の伝播は国をまたぐかどうかという実証研究を行い、特許公開初期の段階では知識の伝播は国内だけに限定的であり、急速には国をまたがないと指摘している。Jaffe and Trajtenberg(1996)ではアメリカの特許の引用状況を調査し、少なくとも初期の一定期間は国外よりも国内のほうがより広く急速に知識は伝播し、特許引用者は同じ国の発明家の特許を引用する傾向があることを指摘している。さらに画期的な発明がなされたとき、同じ国の発明家同士がお互いの特許を引用しあう傾向が極めて高いことも述べられている。したがって、国をまたいで知識が伝播する前に同じ国の発明者に知識が伝播する可能性が高いのである。

以上の特許の引用に関する実証研究から、初期の一定期間では自国の発明はより国内の利益につながるという点で、SEMATECHといった機関への米国政府の補助金の正当性が保障されるのである。

1.3 先行研究の分析と本論文の方向性

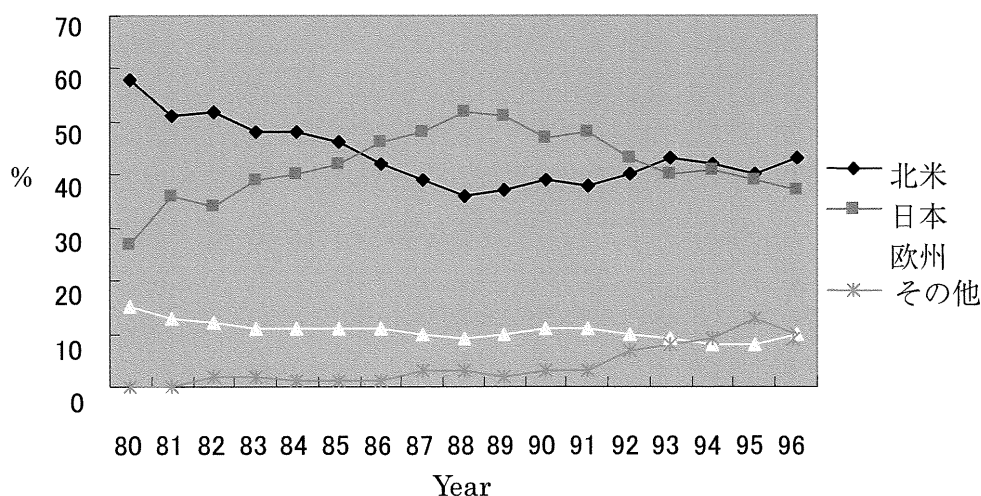
SEMATECHの効果分析を行った先行研究を紹介する。SEMATECHへの米国政府の補助金の正当性は、米国内半導体産業において非SEMATECH参加企業にも波及効果があるかどうかでみることができる。こういった主旨の先行研究でR&D投資額に注目したものにIrwin and Klenow(1996)とHorriggan(1994)がある。両者はメンバー企業と非メンバー企業とで、SEMATECH形成前と後とで比較する手法をとっているが、取得したデータの相違から異なった結論となっている。Irwin and Klenow(1996)では、メンバー企業のR&D活動における重複が避けられるため、非メンバー企業よりもR&D額を相対的に低く抑えることができたとした。したがって、よりいっそうのR&Dは促されず、非メンバー企業への

波及効果はあまりなかったとしている。一方、Horrigan(1994)では外部経済効果を内部化し積極的に R&D 投資が行われることで、結果的に非セマテック参加企業にも波及効果があったとしている。Romer(1993)でもセマテックを産業内での波及効果を促進させる模範的なメカニズムとしている。

また Spencer and Grindley(1993)では、Sematech の存在で半導体製造装置の企画から完成までの期間(lead-time)の短縮、半導体製造装置の知識の深化が促進され、また計画外のところで半導体製造装置のデザイン、運用、メンテナンスが向上したとしている。また非メンバー企業も含めた米国全ての半導体企業はセマテックが開発した技術の恩恵を受けたとも指摘している。Link, Teece and Finan (1996) では SEMATECH について定量的な効果分析を行っている。具体的に SEMATECH のプロジェクト毎にコストと利益を計測し、Internal rate of return analysis と Benefit-to-cost analysis を行った。その結果を踏まえ、SEMATECH は、共同研究以外からも、重要なプロセス・テクノロジーを開発したとしている。

以上に挙げた先行研究は、SEMATECH に対する補助金の正当性を半導体産業全体に対する影響として見なしており、すなわち政府補助金をマクロ的視点から分析している。しかしながら、政府補助金の正当性は産業全体への影響のみならず、メンバー各企業に対する影響からも考察すべきである。よって、本論文では米国政府補助金がメンバー企業内にどのような影響を与えたかミクロ的視点に立って分析を行う。

図 1. 地域別半導体市場シェア



(電子工業年鑑(1994)より作成)

(ただし原資料はデータクエスト)

表1. SEMATECHの開発アプローチ

第一段階	米国内での現在量産製造技術を短期間で改善する。目標は、0.8μm の設計 ルールの技術を 1987 年下半年から 1990 年上半期まで実施する。
第二段階	第二段階は第一段階とほぼ同時並行で 1990 年まで実施する。目標は、 0.5μm の製造技術の開発に集中する。
第三段階	第三段階は、1988 年から始められ 1994 年上半期まで実施される。目標は、 0.35μm の製造技術を開発する。

表2. SEMATECHを出願人としてPCT出願された発明

(WIPOデータベースより2008年1月2日現在)

国際出願日	発明名称
11.03.1991	<u>STAIRCASE SIDEWALL SPACER FOR IMPROVED SOURCE/DRAIN ARCHITECTURE</u>
24.09.1991	<u>PNEUMATIC ENERGY FLUXMETER</u>
24.09.1991	<u>INTELLIGENT MASS FLOW CONTROLLER</u>
20.05.1992	RAPID-SWITCHING ROTATING DISK REACTOR
08.09.1992	HARMONIC AND SUBHARMONIC ISOLATOR FOR PLASMA DISCHARGE
03.05.1993	OPTIMIZED ECR PLASMA APPARATUS
24.11.1993	INTEGRATED BUILDING AND CONVEYING STRUCTURE FOR MANUFACTURING UNDER ULTRACLEAN CONDITIONS
29.11.1993	PHASE SHIFTING MASK STRUCTURE WITH MULTILAYER OPTICAL COATING FOR IMPROVED TRANSMISSION
13.12.1993	PHASE SHIFTING MASK STRUCTURE WITH ABSORBING/ATTENUATING SIDEWALLS FOR IMPROVED IMAGING AND METHOD OF FABRICATING PHASE SHIFTERS WITH ABSORBING/ATTENUATING SIDEWALLS
12.10.2006	METHODS FOR CHARACTERIZING SEMICONDUCTOR MATERIAL USING OPTICAL METROLOGY
25.08.2006	METHODS FOR DUAL METAL GATE COMPLEMENTARY METAL OXIDE SEMICONDUCTOR INTEGRATION
06.03.2007	METHODS AND SYSTEMS FOR DETERMINING TRAPPED CHARGE DENSITY IN FILMS

12.07.2006	METHODS AND SYSTEMS FOR CHARACTERIZING SEMICONDUCTOR MATERIALS
20.09.2006	METHODS FOR MODULATING THE WORK FUNCTIONS OF FILM LAYERS

2001年までのSEMATECHメンバーの推移（1998年以後、SEMATECHは International SEMATECHと改称して世界の半導体メーカーによる研究開発コンソーシアムとなる）

Advanced Micro Devices (US)	1987 ~
AT&T (US)	1987 ~
Digital Equipment Corporation (Compaq Computers) (US)	1987 ~ 2000
Hewlett-Packard Company (US)	1987 ~
IBM (US)	1987 ~
Intel Corporation (US)	1987 ~
LSI Logic (US)	1987 ~ 1992
Micron Technology (US)	1987 ~ 1992
Motorola (US)	1987 ~
National Semiconductor (US)	1987 ~ 1998
NCR (1991年 AT&Tに買収) (US)	1987 ~ 1991
Rockwell International (Conexant Systems Inc) (US)	1987 ~
Texas Instruments (US)	1987 ~
Harris Corporation (US)	1987 ~ 1993

Hyundai Electronics (Hynix Semiconductors) (KR)	1998 ~
STMicroelectronics (IT/FR)	1998 ~
Taiwan Semiconductor Manufacturing Corporation (TSMC) (TW)	1998 ~
Philips (NE)	1998 ~
Siemens (Infineon Technologies) (GE)	1998 ~

第 2 章 半導体産業の特徴と補助金の必要性

本章では、半導体産業の持つ一般的な特徴とその問題点に言及する。さらに、研究開発を長期投資・短期投資の 2 つに分類し、この産業における補助金の必要性について述べていく。

2.1 半導体産業の特徴

半導体産業の特徴として、以下 3 点が挙げられる。

第一の特徴は、技術革新のスピードが非常に速い点である。このことは、半導体産業が「ムーアの法則」にしたがって発展していることで、広く一般的に知られている。この「ムーアの法則」とは、半導体のトランジスタ集積度は 18~24 ヶ月ごとに倍になるという、Intel の共同創始者 Gordon E. Moore が提唱した経験則である。半導体産業は非常に発展が速く、それゆえに製品ライフサイクルも短い。そのため、この産業に属する企業は継続的な技術革新を強いられることになる。特に日本との半導体貿易摩擦において議題となった DRAM は、半導体製品の中でも製品ライフサイクルが特に短いと言われる。1971 年に 1KDRAM が製品化されて以降、1989 年までに 4K、16K、64K、256K、1M と、ほぼ 3 年に 4 倍のペースで記憶容量が増加している。(図 2 参照)

したがって、短期間で世代交替に対応するために、企業は常に次世代製品の開発を目指して技術革新を行う必要性があり、いち早く新世代製品の開発に成功し、先行者の利益を得ようと、企業は激しい研究開発競争を繰り広げることとなる。しかし一方で、後述するように、技術革新に必要となる莫大な研究開発費用は企業にとって大きな負担となり、そのような莫大な費用を負担できる企業は数少なく、一旦研究開発競争から取り残された企業は技術的な不利な立場になってしまう。すなわち、半導体産業に属する企業は、短い製品ライフサイクルに対応するために、継続的な研究開発費用・設備投資を必要とされるのである。

第二の特徴として、半導体産業では、設備投資および研究開発費用が多額となる点が挙げられる。半導体産業は集中的な R&D が行われる産業の一つに数えられる。1989 年のアメリカ電子部品産業では純売上高の 8.3% を R&D に投資していた。全アメリカ産業の R&D の売上高比率の平均は 3.1% である。電子部品産業の内、半導体メーカーは売上の 12.3% を R&D 投資に費やしていた³⁹。こうした数値の背景として、新製品の供給には、半導体の微細加工技術の高度化・製造機械の精度向上が不可欠となり、また、新製品の開発段階のみならず、量産体制に移る段階においても量産技術の確立と大規模な設備の整備が必要となることが挙げられる。加えて、半導体技術の進歩と共に、新技術の開発および生産に必要な資本は増大するため、企業は半導体産業の発展と共に、より多額の設備投資・研究

³⁹ Irwin and Klenow(1996),pp325

開発投資が必要とされることとなる。(図 3 参照)

さらに半導体チップは、電気機器、通信、軍需と幅広い産業に「産業のコメ」として用いられているためにメーカーが半導体需要を予測することが難しく、事前に投資の適正規模を決めることは不可能に近いという特徴を持つ。このことは、企業が負う研究開発に伴うリスクを高める要因となったと考えられる。これが第三の特徴として挙げられる。

したがって以上のことから、半導体産業に属する企業は、半導体製品の短期間での世代交替に対応するため、継続的に、リスクが高く、多額の研究開発を行うことが求められる。また、技術革新につれて増大する投資負担に耐えうる企業のみが、半導体産業内での競争にあずかることができ、このことは、裏を返せばそのような激しい研究開発競争に耐えられない企業は、半導体産業から撤退せざるを得ないと言える。

また、SEMATECH が設立された時代背景を鑑みれば、当時アメリカ産業は日本企業との競争状態にあった。すなわち、産業内・世代間競争に加え、国際競争にも晒されていたことも述べておく必要があるだろう。

ここで、SEMATECH がその設立目的から主眼においていたと考えられる、DRAM について詳しく見ていく。DRAM のような汎用性の高い製品は、完全代替財として位置づけられ、国内および国際市場において激しい価格競争が展開される。DRAM はラーニングカーブよく当てはまる製品と言われ、累積生産量が倍になるとビット当たりの単価は 68% になることが示されている⁴⁰が、DRAM の場合、ラーニングカーブによる効果以上に、価格競争と製品の世代交替から生じる価格下落が激しいため (図 4 参照)、企業は先行者の利益を求めようと行動する。

すなわち、DRAM のビジネスモデルは、短期間に莫大な費用の回収を図るために、価格下落が始まる前に急速に生産量を拡大させる必要があった。このような状況は結果的に、大量生産、供給過剰、価格の下落という一連のプロセスを DRAM 市場にもたらした。

しかし、先述したように莫大な研究開発費用を負担できる企業は数少なく、研究開発が成功して先行者の利益を獲得したとしても、世代間競争をもたらす製品ライフサイクルの短さと、同一世代製品における企業間・国際間競争によって、独占利潤の獲得は長く続かない。したがって、ある企業が研究開発によって技術開発に成功したとしても、その技術によって生じる利益全てを市場で回収するのは事実上不可能に近く、このために、企業が研究開発投資をするインセンティブが減少し、研究開発を継続的に行うための財政的体力の低い企業は市場から撤退する可能性が高まるのである⁴¹。そこで、DRAM 市場に代表されるような半導体市場の特性によって低下した、企業の投資インセンティブを補填するという観点から、政府介入、政府補助金の正当性を見出すことができるのである。

⁴⁰ 大西(1994)

⁴¹ Intel は 1985 年に DRAM 市場から撤退した

2.2 長期 R&D と短期 R&D

前節では半導体産業の特性から生じる投資に対する企業のインセンティブの低下という観点から補助金の必要性を述べた。本節ではさらに踏み込んで、企業の研究開発投資計画における長期 R&D と短期 R&D への予算配分という観点から補助金の必要性について述べたいと思う。

ここで長期 R&D と短期 R&D について述べておく。長期 R&D とは、R&D 費用が高く、R&D 成功率が低いというハイリスク・ハイリターン型の R&D であり、短期 R&D とは、比較的 R&D 費用が低く、R&D 成功率が比較的高いというローリスク・ローリターン型の R&D である。SEMATECH の開発計画アプローチに当てはめれば、長期 R&D は新技術を導入する第 2、第 3 段階の研究内容にあたり、短期 R&D は現行技術の改善にあたる第 1 段階にあたる。SEMATECH では第 1 段階と第 2、第 3 段階が同時進行で行われ、長期・短期両方の視座に立った研究開発が行われていたと考えられる。

SEMATECH の構想がなされていた当時、日本では 10 年以上の長期 R&D に多額の投資が行われていたのに対し、アメリカでは半導体製造装置を生産する企業の規模が小さく、10 年間の R&D 投資の収益を回収するまで待つ余裕が無かったことに加え、研究開発の成果による利益が模倣者によって吸収されてしまうことから、アメリカ企業は短期 R&D を重視していた。このことはアメリカの半導体産業が日本に遅れをとった理由の一つと考えられていた⁴²。

前節において、政府補助金が企業の R&D 投資に対するインセンティブを高める役割をもつことを指摘した。しかしながら、研究開発の規模に対する政府補助金の影響だけでなく、研究開発の内容・質に対する影響もまた考察対象とすべきである。なぜならば、例えば、補助金がリスクの低い R&D 投資に集中し、本来政府が意図するような、リスクの高い R&D 投資に向かわない可能性もある⁴³。その意味において、研究開発の総額や規模に着目するだけでは、政府補助金の効果が明確に分析されているとは言えない。

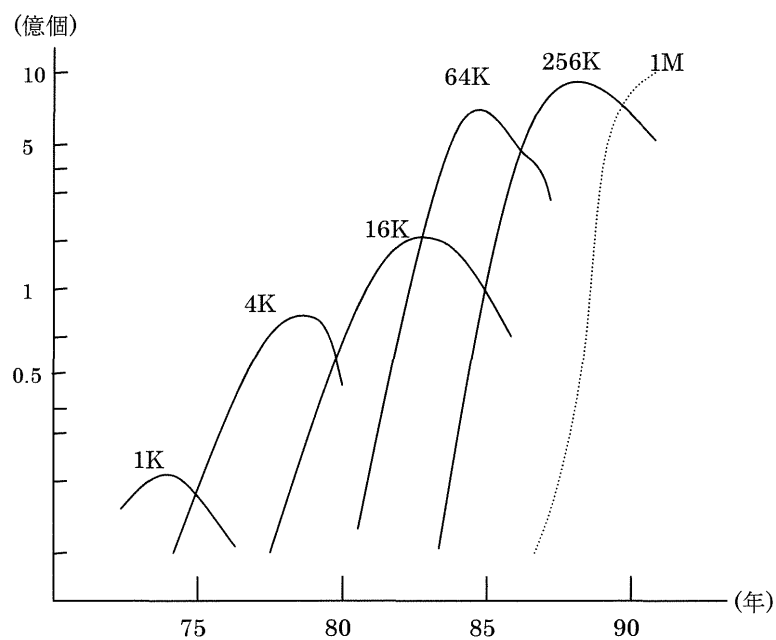
そこで我々は、R&D 投資を長期と短期の 2 種に分類することにより、政府が政策的に推進すべき、例えばリスクの高い研究開発や、外部性の高い、すなわち私的収益率よりも社会的収益率が上回るような研究開発が、補助金によって増加されたのかを考察する必要性があると考ええる。

したがって次章では、このような考えの下で SEMATECH における政府補助金が、メンバー企業の長期 R&D と短期 R&D の投資計画に対してどのような影響を与えたかについて経済学的分析を行う。

⁴² The Congress of the United States Congressional Budget Office(1987)

⁴³ 後藤・若杉(1984)

図2 ビット別DRAMの世界需要



(日本半導体年鑑(1989)より作成)

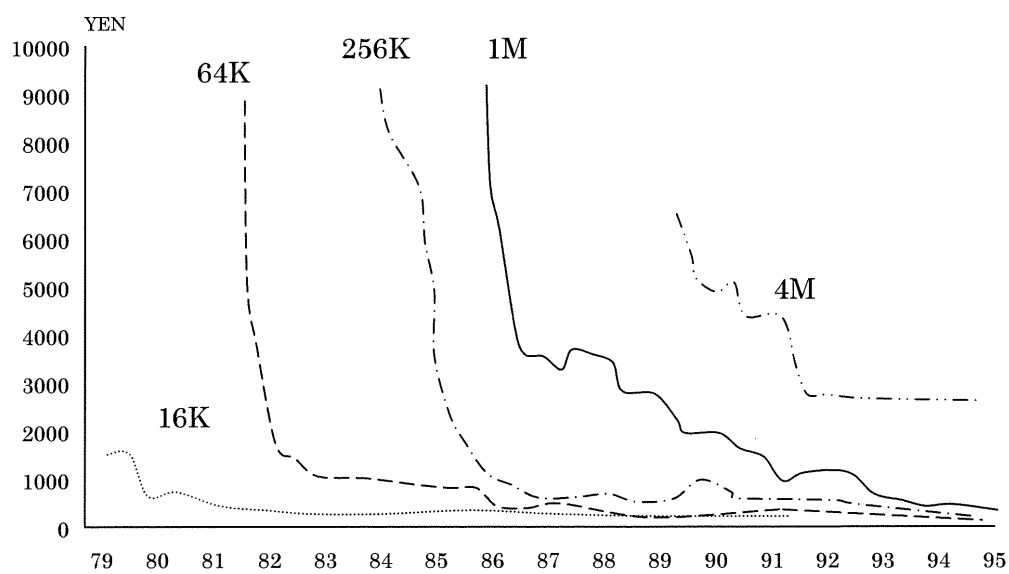
199 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002

0

(Electronic BUSINESS Japan HPより)

(ただし、原資料は米国半導体工業)

図4 DRAMのビット別価格推移



(岡田(1997)より作成)

第 3 章

企業の R&D 投資における政府補助金の効果に関する理論的考察

本章では第 2 章で与えられた SEMATECH メンバーが米国政府や州からの補助金を受け取っていたという事実を鑑み、この補助金が SEMATECH 内企業の投資計画にどのような影響を及ぼしたと考えられるか、理論的モデルを構築してその経済学的含意を述べる。

補助金の性質上、R&D 投資総額に影響を与えることは考えにくい⁴⁴ため、このモデルでは企業が投資に当てる予算制約が一定であるという条件の下、補助金が企業の投資ポートフォリオに与える影響に焦点を当て、長期と短期の投資計画の成功確率と投資回収機会、さらに時間割引率を含んだモデルを導入し、長短 2 つの投資計画に対する企業の投資配分比率に補助金が及ぼす影響について考察する。

3.1 Model の設定

政府補助金の支出パターンには以下の 2 つがある。

一つはあるプロジェクトに対して政府と企業が共同して出資を行うパターンであり、もう一つはあるプロジェクトに企業が投資する際に、投資金額を補償する形で政府が資金援助する場合である。

これら二つの政府補助金では当然得られる効果が異なることが予想される。

官民共同出資型のプロジェクトの場合、企業は本来の予算制約を越えた投資を行うことが出来るので、期待利得関数の変数が大きく変化するだろう。SEMATECH が属するのはこのパターンである。

一方で補償型のプロジェクトの場合、企業の予算制約は以前のままだが得られる政府からの補助金そのまま期待利得に反映されるので、官民共同出資型プロジェクトとは異なる効果が期待される。

以下の 2 節ではある 1 企業が長短 2 つの R&D 投資計画<L>、<S>に直面しており、企業は双方の計画から得られる期待利得のみを考慮に入れて投資配分を決定すると仮定してモデルを構築する。2 節に共通する諸仮定を以下に列挙する。

・ R&D の成功確率を $P(\cdot)$ 、R&D の成功から得られるリターンを $g(\cdot)$ とおくと各投資計画の期待利得は

$$E(L) = P(L)g(L), E(S) = P(S)g(S)$$

と表せる。

⁴⁴ 企業の投資総額を決定するのは自己資本総額や期待投資回収金額など企業の経営環境に依存するため、政府補助金が企業の投資上限額を一意に決定するとは考えにくい。

- ・ $P(\cdot)$ は企業がその投資計画に投じた投資額に依存する。
- ・ L への投資額を x 、 S への投資額を y とおく。
- ・ $P(L) = P(S)$ のときつねに $x > y$

- ・ $0 \leq P(\cdot) < \frac{1}{2}$ のとき、

$$\frac{\partial P(L)}{\partial x} > 0, \frac{\partial^2 P(L)}{\partial^2 x} > 0$$

$$\frac{\partial P(S)}{\partial y} > 0, \frac{\partial^2 P(S)}{\partial^2 y} > 0$$

- ・ $P(\cdot) \geq \frac{1}{2}$ のとき、

$$\frac{\partial P(L)}{\partial x} > 0, \frac{\partial^2 P(L)}{\partial^2 x} \leq 0$$

$$\frac{\partial P(S)}{\partial y} > 0, \frac{\partial^2 P(S)}{\partial^2 y} \leq 0$$

- ・ 以上の仮定を満たす関数として、ここでは具体的に

$$P(L) = \frac{\sin\left(\frac{x}{2} - \frac{\pi}{2}\right) + 1}{2}, P(S) = \frac{\sin\left(y - \frac{\pi}{2}\right) + 1}{2}$$

と置く。企業の予算制約は

$$x + y = \frac{\pi}{2}, x \geq 0, y \geq 0$$

- ・ $P(\cdot)$ と異なり、 $g(\cdot)$ はその投資計画に投じた投資額に依存せず、つねに

$$\frac{g(L)}{g(S)} = a > 1, a = \bar{a}$$

とする。

以下ではこれらの仮定から得られたモデルを基に分析を行う。

3.1.1 官民共同出資型 project への補助政策の効果

企業は $E(L) + E(S)$ が最大となるように行動する。そこでまず補助金がない場合に x を変化させたときに $E(L) + E(S)$ がどのような値を取りうるか調べる。

3.1 で与えられた諸仮定より、

$$\begin{aligned}
E(L) &= P(L)g(L) \\
&= \frac{\sin\left(\frac{x}{2} - \frac{\pi}{2}\right) + 1}{2} ag(S) \\
&= \frac{-\cos\frac{x}{2} + 1}{2} ag(S)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E(S) &= P(S)g(S) \\
&= \frac{\sin\left(y - \frac{\pi}{2}\right) + 1}{2} g(S) \\
&= \frac{-\sin x + 1}{2} g(S)
\end{aligned}$$

$$s.t. \quad 0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}, a > 1$$

より、

$$E(L) + E(S) = \left(\frac{-\cos\frac{x}{2} + 1}{2} a + \frac{-\sin x + 1}{2} \right) g(S)$$

よって、

(i) $x = \frac{\pi}{2}$ のとき、

$$\begin{aligned}
E(L) + E(S) &= \frac{-\cos\frac{\pi}{4} + 1}{2} ag(S) \\
&= \left(\frac{2 - \sqrt{2}}{4}\right) ag(S)
\end{aligned}$$

(ii) $x = 0$ のとき、

$$E(L) + E(S) = \frac{1}{2} g(S)$$

となるので、

$a > 2 + \sqrt{2}$ のとき (i) > (ii) となり、

$a \leq 2 + \sqrt{2}$ のとき、(i) \leq (ii) となる。

一方、 $E(L) + E(S)$ を x で微分すると

$$\begin{aligned}\frac{d(E(L)+E(S))}{dx} &= \frac{1}{2}a \sin \frac{x}{2} + \sin^2 \frac{x}{2} - \cos^2 \frac{x}{2} \\ &= 2 \left\{ \left(\sin \frac{x}{2} + \frac{1}{8}a \right)^2 - \frac{1}{64}a^2 - \frac{1}{2} \right\}\end{aligned}$$

となるので、 $E(L)+E(S)$ は原点に向かって凸であるから、

$$\begin{aligned}\max(E(L)+E(S)) &= \left(\frac{2-\sqrt{2}}{4} \right) ag(S) \quad \left(a > 2+\sqrt{2}, x = \frac{\pi}{2} \right) \quad or \\ &\quad \frac{1}{2} g(S) \quad (a \leq 2+\sqrt{2}, x = 0)\end{aligned}$$

すなわち補助金がない場合、企業は

$a > 2+\sqrt{2}$ であれば長期投資のみを行い、
 $a < 2+\sqrt{2}$ ならば短期投資のみを行う。

つぎにこのモデルに政府補助金を導入する。

官民共同出資型の場合、企業は自身の予算制約の他に補助金率 100%の政府補助金を受け取ることが出来るので予算制約は倍になる。

$E(L)+E(S)$ は原点に向かって凸なので、 $\max(E(L)+E(S))$ を取りうるのは $x=0$ または $x=\pi$ のときのみである。

$x=0$ のとき、

$$E(L)+E(S) = \frac{1}{2} ag(S)$$

$x=\pi$ のとき、

$$E(L)+E(S) = g(S)$$

となるので、企業は

$a > 2$ のとき長期投資のみを行い、
 $a < 2$ のとき短期投資のみを行う。

以上より、補助金を導入することで長期投資が開始されるような a の値は

$$2 \leq a \leq 2+\sqrt{2}$$

だけ広がっており、官民共同出資型の補助金政策が長期投資に正のインセンティブを与えていることが確認できる。

3.1.2 民間出資型 project における政府補助金の効果

補助金導入前の均衡は 3.1.1 と同様である。

民間出資型 project において補助金を導入すると、企業の期待利得に補助金があるまづ

ラスされるので、企業の期待利得は

$$\begin{aligned}
 E(L) &= \frac{\sin\left(\frac{x}{2} - \frac{\pi}{2}\right) + 1}{2} ag(S) + x \\
 &= \frac{-\cos\frac{x}{2} + 1}{2} ag(S) + x \\
 E(S) &= \frac{\sin\left(y - \frac{\pi}{2}\right) + 1}{2} g(S) + y \\
 &= \frac{-\sin x + 1}{2} g(S) + \frac{\pi}{2} - x \\
 s.t. \quad x + y &= \frac{\pi}{2}, x \geq 0, y \geq 0
 \end{aligned}$$

となる。

$E(L) + E(S)$ は原点に向かって凸なので、やはり $\max(E(L) + E(S))$ となるのは $x = 0$ または $x = \frac{\pi}{2}$ のときで、結局、

$$\begin{aligned}
 \max(E(L) + E(S)) &= \left(\frac{2 - \sqrt{2}}{4}\right) ag(S) + \frac{\pi}{2} \left(a > 2 + \sqrt{2}, x = \frac{\pi}{2}\right) \quad or \\
 &\quad \frac{1}{2} g(S) + \frac{\pi}{2} \left(a \leq 2 + \sqrt{2}, x = 0\right)
 \end{aligned}$$

となり、長期投資を可能にしようとする a の値の範囲は補助金導入前と変化しない。

さらに時間割引率を導入したモデルを考える。L において企業は N 年に亘る継続した投資が必要であるとする、各期の企業の投資額は

$$x_i = \frac{x}{n} (i = 0, 1, \dots, n-1)$$

よって

$$E(L) = P(L)g(L) + \frac{x}{n}(1 + \rho + \dots + \rho^{n-1})$$

となる。

$E(L) + E(S)$ の凸性にかわりはなく、また $n \rightarrow \infty$ のとき、

$$\frac{x}{n}(1 + \rho + \dots + \rho^{n-1}) = \frac{x}{n} \frac{1 - \rho^n}{1 - \rho} \rightarrow 0$$

となるので、

$$\max(E(L) + E(S)) = \left(\frac{2 - \sqrt{2}}{4} \right) ag(S) \left(a > \left(2 + \sqrt{2} \right) \left(1 + \frac{\pi}{g(S)} \right), x = \frac{\pi}{2} \right) \quad or$$

$$\frac{1}{2} g(S) + \frac{\pi}{2} \left(a \leq \left(2 + \sqrt{2} \right) \left(1 + \frac{\pi}{g(S)} \right), x = 0 \right)$$

よって、民間出資型 **project** における政府補助金の場合、時間割引率を導入すると長期投資のインセンティブを損なう恐れがある。また研究開発が長期に亘るほどインセンティブの損失が大きいこともこのモデルから言及することが出来る。

3.2 まとめ

3.1.1 では補助金によって企業は長期投資を増大させるインセンティブを持つことができる。一方 3.1.2 では補助金によって長期投資へのインセンティブが高まることはなく、時間割引率を導入した場合、R&D への投資期間が長いほど、政府補助金によって長期投資へのインセンティブが損なわれることが判明した。

よって SEMATECH のような官民共同出資型の政府補助金は企業の長期投資にとって有益であり、Brander-Spencer のモデルに代表されるような生産補助金よりも明確に長期投資を増大させることが分かった。

おわりに

当論文では、米国半導体産業における官民共同研究開発コンソーシアム SEMATECH を考察対象として、企業の短期・長期の研究開発投資計画に対する政府補助金の効果を分析した。

その結果、Brander-Spencer 型の補助政策よりも SEMATECH のような官民共同出資型の補助政策の方がより明確に長期投資を増大させる効果があるという結論を得た。

このことから、SEMATECH に対する政府補助金が、一企業の研究開発投資計画において、短期的な R&D に比べてリスクが高く、多額となる長期の研究開発投資を増加させたことが言える。SEMATECH 設立目的と背景とを考慮すれば、社会的便益の高い長期的 R&D を増加させたことは、SEMATECH に対する政府補助金の正当性の裏付けとなるだろう。

しかしながら、第 3 章で取りあげたモデルは一企業の投資計画のみに焦点をあてているため、他企業の R&D から得られる技術のスピルオーバーが考慮されていない。この問題を克服するためには、複数企業からなる R&D 競争戦略を仮定した新しいモデルの設定が必要である。

また、R&D 投資の期待利得関数は各企業で必ずしも同一であるとは限らない。たとえば大企業であれば次世代ハードウェア開発などの長期 R&D 投資を行って産業全体をリードする役割を持っているので長期的投資を行うインセンティブを高く持つが、大企業付随型の中小企業では比較的风险の低い短期的投資を繰り返し行うインセンティブの方が強い。それらは企業の自己資本の相対量や、それぞれの企業が直面する市場規模・市場シェア等に依存することが予想されるので、そうした各企業の経済的背景を取り入れたモデルを導入することでよりモデルを精緻化する必要があるだろう。

SEMATECH の参加企業に対する政府補助金の影響については上記のような結論を得たが、共同研究開発コンソーシアムという SEMATECH の組織的・形態的特徴に言及することで、SEMATECH の経済分析を行うことも重要である。部門間のみの共同研究開発と、コンソーシアムを含めたりサーチ・ジョイント・ベンチャーとの違いを、知識の補完性などの観点から比較し、官民共同研究開発コンソーシアムとしての SEMATECH の効果を明らかにする必要がある。この点も含め、今後の課題としたい。

参考文献・データ出典

- 伊藤元重ほか(1988),『産業政策の経済分析』東京大学出版社.
- 小田切宏之(2007),「競争政策の経済学 技術革新と競争政策」『経済セミナー』(2007年12月号).
- 小田切宏之(2006),『バイオテクノロジーの経済学』東洋経済新報社.
- 大西勝明(1994),『日米半導体産業論-日米再逆転の構図-』森山書店.
- 大矢根聡(2002),『日米韓半導体摩擦-通商交渉の政治経済学-』有信堂高文社.
- 木梨貞男(2004),『米国特許入門第2版』工業調査会.
- 公正取引委員会事務局経済部(1990),『共同研究開発と競争政策』ぎょうせい.
- 後藤晃・若杉隆平(1984),「技術政策」,小宮隆太郎・奥野正寛・鈴木興太郎編『日本の産業政策』東京大学出版会.
- 土屋大洋(1995),「日米半導体摩擦の分析-数値目標とその影響-」『法学政治学論究』第25号夏季号.
- 土屋大洋(1996),「セマテックの分析-米国における共同研究コンソーシアムの成立と評価-」『法学政治学論究』第28号春季号.
- 中村吉明(2000),「政府主導の共同研究開発プロジェクトにおける政策効果の実証的分析—通商産業省のコンピュータ・プロジェクトのケース・スタディ」.東京工業大学,博士論文.入手先,東京工業大学学位論文データベース,
<http://tdl.libra.titech.ac.jp/z3950/hkshi/maindsp.html>, (参照 2007-12-9) .
- Semiconductor FPD World 編集部 VLSI Report 調査部 (1989),『日本半導体年鑑 1989』プレスジャーナル.
- 電波新聞社編(1994),『電子工業年鑑 1994』電波新聞出版部.
- 畑次郎(2006),『Exaflops 米国ハイテク戦略の全貌』日本工業出版.
- 宮田由紀夫(1997),『共同研究開発と産業政策』勁草書房.
- 若杉隆平(1986),『技術革新と研究開発の経済分析』東洋経済新報社.
- データクエスト.
- Albert N. Link, David J. Teece and William F. Finan (1996) “Estimating the Benefits from Collaboration: The Case of SEMATECH” *Review of Industrial Organization* 11:737-751.
- Horrigan, J.B. (1994) “The Benefits of Consortia: Impact on MCC and SEMATECH on Members’s R&D Spending” *LBJ School of Public Affairs*.
- Philip C. Webre. (1987) “The benefits and risks of federal funding for Sematech” *Congress of the United States, Congressional Budget Office*: 9-27.
- Spencer, W.J. and P. Grindley (1993) “Sematech After Five Years: High Technology

- Consortia and U.S. Competitiveness" *California Management Review* 35: 9-32.
- Irwin, D. A. and P. J. Klenow (1996) "High-Tech R&D Subsidies: Estimating the effects of Sematech" *Journal of International Economics* 40: 323-344.
- Irwin, D. A. and P. J. Klenow (1996) "Sematech: Purpose and Performance", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93: 12739-42.
- Irwin, D. A. and P. J. Klenow (1994) "Learning-by-doing in the Semiconductor Industry", *Journal of Political Economy* 61:1200-1227.
- Romer, P.M. (1993) "Implementing a National Technology Strategy with Self-Organizing Investment Boards," *Brookings Papers on Economics Activity: Microeconomics* 2(1993):345-390.
- Branstetter, L.G. (2001). "Are Knowledge Spillovers International or Intranational in Scope? Microeconomic Evidence from the U.S. and Japan," *Journal of International Economics* 53: 53-79.
- Arrow, Kenneth J. (1962). "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Innovation", in Nelson, editor, *The Rate and Direction of Inventive Activity*.
- The Congress of the United States Congressional Budget Office. (1987). 『THE BENEFITS AND RISKS OF FEDERAL FUNDING FOR SEMATECH』
- Jaffe, A.B. and M. Trajtenberg. (1996). "International Knowledge Flows: Evidence from Patent Citations," *Economics of Innovation and New Technology* 8.
- Katz, M.L. (1986). "An Analysis of Cooperative Research and Development," *The RAND Journal of Economics* 17(4): 527-543.
- Katz, M. L. and J.A. Ordover. (1990). "R&D Cooperation and Competition", *Brookings Papers on Economic Activity* (Special Issue 1990): 137-203.
- WIPO (World Intellectual Property Organization) HP
<http://www.wipo.int/portal/index.html.en>, (参照2007-12-15) .
- USPTO (United States Patent and Trademark Office) HP
<http://www.uspto.gov/>, (参照2007-12-15) .
- Electronic BUSINESS Japan HP
<http://www.ebjapan.com/content/monthly/2004/11/cover/cover01.html>,